

2010年第 1期
(总第 178期)

人口与经济
POPULATION & ECONOMICS

Na 1, 2010
(Tot Na 178)

未来 30 年我国粮食、淡水、能源需求的系统仿真

米 红¹, 周 伟²

(1. 浙江大学 非传统安全与和平发展研究中心, 浙江 杭州 310058;

2 厦门大学 人口资源环境与地理信息系统研究中心, 福建 厦门 361005)

摘 要: 本文以系统动力学为主要方法, 对未来我国的人口总量和经济水平进行了预测, 在此基础上对未来粮食、淡水和能源的需求规模进行了仿真, 提炼出人口、经济与粮食、淡水和能源需求的关联模式, 并进行了灵敏度分析, 探讨了为确保粮食、水、能源安全所能采取的有效措施。

关键词: 系统动力学; 粮食安全; 水安全; 能源安全

中图分类号: F061.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 4149 (2010) 01 - 0001 - 07

The System Simulation of China 's Grain, Fresh Water and Energy Demand in the Next 30 Years

MI Hong¹, ZHOU Wei²

(1. Center for Non-Traditional Security and Peaceful Development Studies,

Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2 Center for Population,

Resource, Environment and GIS Studies, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: This paper forecasts chinese population by disintegrate research and economic level in the future; simulates the demand scale of grain, freshwater and energy by system dynamic method, and then refines the correlative model of population and economy to grain, freshwater and energy, processes the sensitivity simulation. At last, it puts forward the effective measures to ensure the grain security, freshwater security and energy security.

Keywords: system dynamic; grain security; freshwater security; energy security

人口增长、城市化与工业化的迅速推进, 是我国现阶段经济社会发展的重要特征。在此条件下, 以粮食、淡水、能源为代表的资源需求将持续增长, 并对生态环境构成极大的压力。经济增长促进了国民生活水平的提高, 人均消耗资源的数量将持续攀升。与此相对应, 资源的供应量却难以以同样的速度增长, 这就为经济社会的可持续发展带来挑战。粮食、淡水、能源作为关系国

收稿日期: 2009 - 02 - 28

基金项目: 教育部人文社科重大项目 (08JZD0021-D); 国家人口和计划生育的十二五规划重点项目“人口、资源、环境约束下的定量分析”和浙江省自然科学基金项目 (J20080147) 的资助。

作者简介: 米红 (1962 -), 山东青岛人, 浙江大学非传统安全与和平发展研究中心常务副主任, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 人口与社会经济数据挖掘分析。

计民生的基础性、战略性资源,能否满足人口增长与经济发展的需要,直接关系到我国的国家安全和社会稳定。

目前可以观察到的事实是,粮食、淡水、能源的供应还不能为我国社会经济的发展提供稳定可靠的物质基础。2008年初的冰雪灾害,2009年初的旱灾对全国的农业生产造成极大的影响;近几年来农产品价格与供应量的大幅波动,也在昭示农业的脆弱基础。水资源的缺乏和污染已经显著影响到人们的生产生活;能源消费与环境保护、气候变化的矛盾困扰着整个世界。目前,我国经济增长方式由粗放型向集约型的转变尚没有完成,各种自然资源的利用效率仍然需要继续提高。随着体制改革的深入和技术的进步,某些领域对自然资源的需求会出现一定程度的下降,人民生活水平的不断改善会进一步加大对自然资源的需求。这两种反方向的变化最终决定了对自然资源的需求状况。

2008年6月,中国环境与发展国际合作委员会和世界自然基金会共同发布了《中国生态足迹报告》。该报告指出,自从20世纪60年代以来,中国的人均生态足迹持续增长约2倍。作为一个国家,中国消耗了全球生物承载力的15%,中国消耗的资源已超过自身生态系统所能提供资源的2倍,对资源的过度透支使得生态系统持续恶化。为应对这一局面,我们首先需要了解未来人口增长和经济发展对资源的需求会达到什么程度?为此,本文研究人口增长与经济发展、产业结构调整对粮食、淡水、能源需求的关联模式,并对未来的需求状况做出预测,从而为协调人与自然的关系做出基础性的数据准备。

一、文献综述

在粮食安全方面,朱希刚分析了我国粮食生产的波动性,指出国内粮食生产难以满足刚性需求,未来粮食的缺口必然要靠进口解决,粮食自给率在90%左右可以减少粮食增产的边际成本,且不会威胁粮食安全^[1]。封志明对人口发展的粮食安全和耕地保障进行了研究,认为基于18亿亩耕地保证粮食生产可以在人均420~435公斤的水平上满足14.36亿人口的消费,但很难有进一步提高^[2]。李玉平,蔡运龙运用回归分析和时间序列中的平滑预测法,预测了人口与粮食生产的动态变化^[3]。

粮食生产与水资源的利用密切相关,莱斯特·布朗和布瑞恩·哈勒维认为,由于中国农业缺水问题日益严重,未来中国粮食将严重依赖进口,对世界粮食安全带来挑战^[4]。王丘和阮文彪论证了农业用水面临的严重问题,指出水资源的短缺和污染将对农业发展形成制约^[5]。徐玉升等利用系统动力学方法分析了地区水资源利用系统中的主要因素及它们之间的相互联系,确定了它们之间的定量关系,对地区用水的供需趋势进行了预测^[6]。

在人口与能源消费方面,刘蕊梅,陈昭宜讨论了从人口增长率出发预测能源消耗,进而讨论了人口增长对温室效应的影响^[7]。余国合,吴巧生对中国能源与人口数据进行定量分析,发现中国能源消费增长主要受城市化进程加快引起的城乡居民收入差距扩大影响,其次受第二产业就业比例下降影响^[8]。张雷,蔡国田通过对世界和中国人口发展与能源消费的关系研究,提出中国必须继续实施严格的计划生育政策及最大限度实现资源国际化^[9]。曾波和苏晓燕以我国近20年来的能源消费数据为样本,从比较分析各产业对经济增长贡献入手,采用灰色关联分析法分析产业结构和能源消费的关联效应,指出第二产业能耗很高,对GDP增长的贡献只有50%左右^[10]。

上述研究者从不同侧面探讨了人口与粮食、水资源、能源需求的关系。人口数量直接影响对各种资源的消耗量,同时,经济水平的提高,使得人均资源消费量明显上升。例如,近年来我国居民的食品消费中,动物性食品比重持续上升,因而饲料用粮的消耗增加较快。在城市化水平不断提高的条件下,从钢铁、化工、建材到汽车、家电、纺织品,各种消费品的需求都会大幅增

加, 每种消费品的生产都会相应的增加对水资源和能源的需求。此外, 不同产业对资源的消耗强度不同, 农业用水量大, 对能源需求较小; 重化工业则是高耗能、高耗水的产业; 相对而言服务业的耗能量、耗水量均较低。综上所述, 资源需求与人口数量、经济发展水平、产业结构存在密切关系, 本文将在在此基础上建立模型, 系统地、动态地分析变量之间的相互影响, 并对粮食、水资源、能源需求进行预测。

二、模型设计

1. 本模型的设计思路是以人口数量和人均 GDP 为基础变量, 结合产业结构因素, 考虑人口规模与经济发展水平随时间变化的条件下对粮食、水资源、能源的不同消耗强度建立动态模型。人均 GDP 体现了经济发展水平及民众生活水平, 这一变量影响着食物结构、不同类别的粮食需求、能源消耗强度等。产业结构的变化反映三大产业的不同发展阶段, 对应着不同的资源利用效率, 因而对水资源和能源消耗有着显著影响。人口、经济与资源环境的可持续发展是多维、非线性、时变的复杂系统, 对这一系统, 运用系统动力学方法进行仿真是一种有效的手段。该方法既能做现状的趋势模拟, 从而提出警告性的预测; 又能进行资源与环境对社会经济的影响分析和资源配置结构的影响分析, 并给出对未来的模拟。因此, 采用这种手段可以探讨更为理想的发展方案。模型的具体设计如下:

(1) 人口数据: 利用人口学中成熟的分要素预测方法, 以 2000 年全国人口普查数据为基础, 并对未来的生育参数和死亡参数进行推算, 得到 2010 ~ 2040 年我国历年的人口规模。

(2) 人均 GDP: 分析历史经济数据, 并考虑到经济总量扩大后, 经济增长率会有所降低的规律, 结合国家的宏观战略目标, 以本模型中拟合程度最高的逻辑斯蒂函数进行推算, 该模型的形式为: $y = (u^{-1} + 0.1)^{-1}$

其中, t 为预测年份, y 为预测的人均 GDP, u 为上限值, 0.1 为模型参数。

(3) 产业结构: 设定农业、工业、第三产业的比重, 比重的数值直接影响对资源的需求, 同时产业结构的演进意味着资源利用效率的提高。人均 GDP 与产业结构共同决定资源的利用效率。对产业结构进行趋势外推可以得到未来的变化数值, 同时参考发达国家在特定人均 GDP 和产业结构下单位产值对粮食、淡水和能源的需求, 其中对能源的需求还需要考虑单位 GDP 能耗。

(4) 粮食需求子系统: 粮食消费的特点是: 随着经济增长和民众消费水平的提高, 粮食的总需求量不断上升。在结构上, 食用粮消费逐渐下降; 由于对肉、蛋、奶等动物性食品的消费需求逐渐提高, 从而使得对用于生产动物性食品的饲料用粮的需求持续增加, 饲料用粮需求量通过计算动物类食品需求量与适当的饲料粮转换率获得。种子用粮、工业用粮的变动幅度相对较小, 取近年来的平均值。

(5) 淡水需求子系统: 淡水需求主要由农业用水、工业用水和生活用水组成。其中农业用水所占比重最大, 且用水量较为稳定; 工业用水量与经济规模呈正相关, 生活用水也由于居民生活水平的提高而增加。同时, 考虑到淡水利用受到资源供应量和污染因素的影响, 引入污染影响因子。国际上一般认为对河流的开发利用率不能超过 40%, 否则河流会失去自净能力, 水资源平衡受到破坏。我国局部地区已突破这一警戒线, 就整个系统而言引入这一子系统是科学的。

(6) 能源需求子系统: 主要通过经济总量与单位 GDP 能耗推算未来的能源消耗。我国节能减排的目标任务中提出, 到 2010 年, 万元国内生产总值能耗将由 2005 年的 1.22 吨标准煤下降到 1 吨标准煤以下, 降低 20% 左右。分析表明, 历史数据支持这一趋势, 用幂函数模型能较好地描述这种曲线下降规律, 以 1990 年 $t = 1$, 回归模型为:

$$y = 6.6528t^{-0.625}, \quad R^2 = 0.9625, \quad F = 385.34, \quad \text{SIG 值为 } 0.000$$

对于仿真步长, 该模型取 $DT = 1$, 经对模型进行测试后认为, 模型未出现失真及振荡现象,

这表明步长选取合理可行。

2 本系统参数众多，在模型调试中，参数选择须与模型运行结合起来。本模型通过模拟实验法来确定系统参数，在参数值的变化范围内先粗略地试用参数进行模型调试，模型行为无显著变化时，即确定了该参数值。

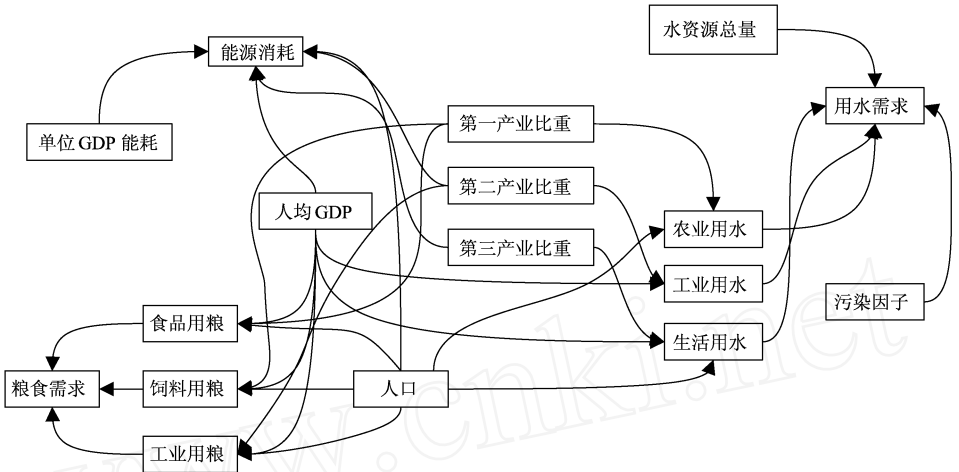


图 1 本模型的系统动力学流图

模型中的参数有常数值、表函数、初始值等。为简化模型参数，对那些随时间变化不显著的参数近似地取为常数值。本模型中大量使用了表函数，方便有效地处理了众多的非线性问题。对于初始值，本模型采取了二种处理办法：一是拟合历史数据；二是将某些特殊的增长（或衰退）过程作初始化处理。考虑到初始值的确定对系统行为影响较大，对于在实际系统中波动较大的数据，做了一些必要的技术处理，选取时段的平均值。

3 系统动力学模型有效性检验方法可以分为直观检验、运行检验、历史检验、灵敏度分析 4 个部分^[11]。直观检验和运行检验在建模过程中已经进行。利用 Vensim 软件提供的编译检错、跟踪功能、历史检验则可以通过比较仿真数据与历史数据之间的吻合情况进行判断。而灵敏度检验则比较复杂，它要通过改变模型方程和模型参数值才能得知这种变化对模型行为的影响，而且在特定干扰和随机干扰下，系统都能实现特定的目标，从而对模型进行结构和灵敏度检验。灵敏度检验公式如下：

$$S(t) = \left| \frac{Y(t)/Y(t)}{X(t)/X(t)} \right|$$

对本模型的检验表明，模型行为模式并没有因为参数的微小变动而出现异常变动，因此模型是可信的，可以应用该模型进行仿真计算。

三、仿真结果分析

1. 对未来人口增长与经济发展水平的仿真

根据本模型的预测，未来我国人口将在 2035 年达到峰值，约 14.6 亿人，之后会缓慢下降；人均 GDP 持续增长，2040 年可以达到 6.28 万元（见图 2）。与此相对应，中国的经济总量增长很快，2040 年预计可达到 2006 年的 4.5 倍。要达到这样的经济水平，显然需要足够的资源作为支撑。以下各项即是对粮食、水资源和能源的需求仿真。

2 对未来我国粮食需求量的仿真

2010 年 ~ 2040 年我国的粮食需求量如表 1 所示。其中 2040 年的粮食需求为 60433 万吨，人

均需求为 415 千克，比 2006 年的人均占有量高 9.5%。对粮食需求的灵敏度分析表明：人口规模的变化对粮食需求的影响相对于人均 GDP 的影响更为显著。人口规模增加 5%，粮食需求量相应增加 4.3%；而人均 GDP 增加 5%，粮食需求仅增加 0.13%。原因在于，粮食是人们日常生活中的必需品，其消费需求呈现一定的刚性。而随着经济发展水平的提高，食品消费在整个消费中所占的比重逐渐下降，使得粮食需求对人均 GDP 的变化不敏感。

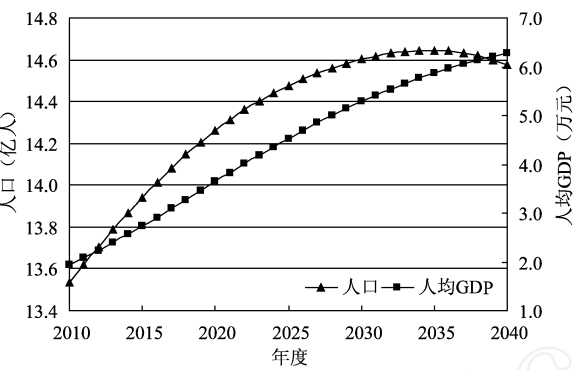


图 2 对未来人口与经济发展的仿真结果

3. 对未来粮食供需状况的进一步探讨

我国粮食的产量呈现不规则的波动趋势。在 1996 年、1998 年、1999 年超过 5 亿吨，其余年份都低于 5 亿吨。从人均占有量上看，1997 年最高，为 402 千克；其余年份在 350 ~ 390 千克之间波动，高于世界平均水平。2007 年和 2008 年，世界粮食供应趋紧，国际市场粮价不断上扬，我国的粮食供需保持了基本平衡，但这种平衡较为脆弱。工业化与城市化进程不可避免地要减少耕地面积，而各种气象灾害的频发也给农业生产带来不利影响，加之政策调整、价格波动等因素，粮食供应存在不确定性。

4. 对未来淡水需求的仿真

仿真结果表明，2020 年和 2040 年我国的淡水需求量将分别达到 6460 亿立方米和 7616 亿立方米。考虑到目前淡水资源的供需已经出现紧张局面，要满足未来巨大的需求增长是极其困难的。我国淡水资源总量为 28000 亿立方米，占全球水资源的 6%，人均只有 2200 立方米，仅为世界平均水平的 1/4，是全球 13 个人均水资源最贫乏的国家之一。扣除难以利用的洪水径流和散布在偏远地区的地下水资源后，中国现实可利用的淡水资源量则更少，仅为 11000 亿立方米左右。

灵敏度分析表明，淡水需求与人口规模呈同方向变化，而与人均 GDP 呈反方向变化。这意味着，经济发展水平越高，对淡水的综合利用效率就越高，单位产值的用水量会逐渐减少，这是符合经济社会发展规律的。目前在工业领域，我国对水的重复利用率仅为 50% ~ 60%，发达国家则已达到 70% ~ 90%，中国工业万元产值平均用水量为 103 立方米，而美国是 9 立方米，日本只有 6 立方米^[12]。

5. 对未来能源需求的仿真

近年来我国的年均经济增长率保持在 10% 以上，对能源的需求也快速增加。2000 年我国的能源消耗量为 13.9 亿吨标准煤，2006 年达到

表 1 对未来我国粮食需求量的仿真结果

年度	粮食需求 (万吨)	年度	粮食需求 (万吨)	年度	粮食需求 (万吨)
2010	51952	2021	56685	2031	59550
2011	52399	2022	57050	2032	59738
2012	52855	2023	57400	2033	59905
2013	53314	2024	57728	2034	60050
2014	53767	2025	58040	2035	60173
2015	54212	2026	58335	2036	60272
2016	54649	2027	58613	2037	60351
2017	55080	2028	58875	2038	60404
2018	55502	2029	59118	2039	60431
2019	55910	2030	59344	2040	60433

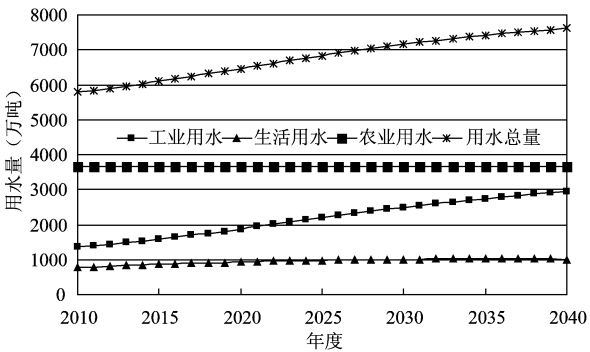


图 3 对未来我国淡水需求的仿真

24.6 亿吨, 年均增长率为 10.1%。尽管如此, 由于能源生产与消费的空间、时间不平衡性, 以及能源体制的问题, 近几年出现了地域性、季节性的“电荒”、“煤荒”、“油荒”, 影响了经济的发展和居民的生活。因此, 能源规划和建设必须超前于经济发展。按照目前的节能规划和经济发展目标, 2040 年我国的能源需求会达到 52.19 亿吨标准煤, 相当于 2006 年能源消耗量的 2.12 倍 (见表 2)。

表 2 对单位产值能耗和能源总需求的仿真结果

年度	能耗比	能源需求 (万吨)	年度	能耗比	能源需求 (万吨)	年度	能耗比	能源需求 (万吨)
2010	0.992	259226	2021	0.763	417163	2031	0.643	509478
2011	0.964	272993	2022	0.748	429954	2032	0.634	514027
2012	0.937	287205	2023	0.734	442078	2033	0.625	517712
2013	0.913	301761	2024	0.721	453428	2034	0.616	520559
2014	0.890	316515	2025	0.708	463991	2035	0.608	522604
2015	0.868	331367	2026	0.696	473736	2036	0.600	523874
2016	0.848	346230	2027	0.685	482636	2037	0.592	524427
2017	0.829	361022	2028	0.674	490672	2038	0.584	524256
2018	0.811	375629	2029	0.663	497818	2039	0.577	523382
2019	0.794	389915	2030	0.653	504096	2040	0.570	521887
2020	0.778	403804	—	—	—	—	—	—

灵敏度分析表明, 人口规模与人均 GDP 对能源需求的影响是相同的。在这种情况下, 单位 GDP 能耗对未来的能源消费有着关键性的影响。与世界平均水平相比, 我国的能源利用效率偏低。2005 年, 我国单位 GDP 能耗相当于世界平均水平的 2.7 倍, 高收入国家的 4.6 倍。中国能源效率仅为 36.3%。火电供电煤耗比国际先进水平高 18.6%, 钢铁、水泥、乙烯的综合能耗比国际先进水平高 17%, 20.5% 和 56.7%^[13]。本模型预测 2040 年我国的万元 GDP 能耗为 0.570 吨标准煤。而高收入国家在 1990 年的能源利用效率, 折合成标准煤为 0.371 吨。即使考虑到人民币的升值效应, 我国的能源利用效率仍然有待提高。

同时需要注意的是我国的能源结构问题。我国 2006 年的能源消费中, 煤炭占 69.4%, 石油占 20.4%, 天然气占 3.0%, 水电、核电、风电合计占 7.2%^[14]。如果这种结构没有大的改变, 未来对煤炭的需求量要增加 1 倍, 环境容量无法支持这种增长。煤炭燃烧过程中会产生大量的二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、烟尘等, 加剧温室效应, 污染大气环境。2005 年中国一次能源消费占全世界的 15.2%, 但二氧化碳排放占到了 18.8%。我国 2006 年二氧化碳排放达到 57 亿吨。据有关测算, 我国 2007 年二氧化碳排放量可能已超过美国, 成为世界第一排放大国, 人均二氧化碳排放量也将达世界平均水平, 且仍会继续以较快速度增长^[15]。

因此, 未来我国的能源消费结构必须有较大幅度调整, 降低煤炭消费比重, 增加水电、核电、风电的比重。我国水利电力的开发已形成规模, 考虑到对生态环境的影响, 水电建设要适当控制。风电、太阳能的利用近年来发展较快, 但占发电总量的比重较低。从长期来看, 切实可行的是提高核电比重。有关核电对二氧化碳减排的研究结果表明: 高幅度的碳减排将主要依赖于核电的发展, 如果未来核电的装机容量达到 500GW, 能降低 30% 的二氧化碳排放^[16]。2007 年, 国务院公布了《核电中长期发展规划 (2005 ~ 2020 年)》。按照此规划, 到 2020 年, 核电占全部电力装机容量的比重从现在的不到 2% 提高到 4%, 核电年发电量达到 2600 亿 ~ 2800 亿千瓦时。但与发达国家相比, 仍然有很大差距。美国核电占全部电力装机容量的比重约 20%。在法国, 这一比重甚至超过 70%。因此, 我国发展核电的空间还是很大的。核电作为一种清洁高效能源, 是我国增加能源供应、优化能源结构、应对气候变化最重要的选择之一, 扩大核电规模应当作为能源战略的一个重点。从长远看, 中国的核电规模可能达到亿千瓦的规模, 成为重要的一次能源^[17]。

四、结论

可持续发展是以人为中心, 以资源环境保护为条件, 以经济社会发展为手段, 谋求当代人与后代人共同繁荣、持续发展的目的。作为宝贵自然资源的粮食、淡水能源, 在可持续发展过程中与人口、环境和经济有着密不可分的关系。

1. 未来我国人口增长和经济发展对粮食的需求有一定的刚性,尤其是居民生活水平的提高必然会增加对动物性食品的消费需求,这必然会增加饲料用粮的消耗量。分析表明,2040年我国的粮食总需求量将达到6.04亿吨,相当于在现有产量的基础上增加20%。人均粮食占有量达到415千克。由于需求巨大,不可能通过进口来维持供需平衡,确保粮食持续增产是保证粮食安全的必然选择。粮食问题是关系国计民生的根本问题,粮食安全是一个国家和地区整个安全体系的基础。在我国“耕地—粮食—人口”系统矛盾日益尖锐的严峻形势背景下,粮食供应能够达到的水平,直接决定着我国可持续发展的能力。为保证国家粮食安全,国家需要采取多种措施来鼓励粮食生产,严格保护现有耕地,提高粮食收购价格,增加对种粮农民的直接补贴,增加对农业科技、农业基础设施的投入等。

2. 中国在相当长的历史时期内不会摆脱水资源危机的现实。2020年和2040年我国的淡水需求量将分别达到6460亿立方米和7616亿立方米。值得注意的是,未来的水危机与过去水资源的严重短缺的形势是很不一样的,过去主要是靠开源增加供水量,但水资源的开发利用率是有限的。即使有可开发的资源,其开发难度将越来越大,所需的费用将十分昂贵。因此,单纯靠兴修水利工程甚至跨流域调水来增加水的供应将日趋艰难,只有采取节水措施提高水的利用率,从源头上减少浪费和污染,才能保证水安全。

3. 虽然我国能源利用效率在不断提高,但生产规模的扩大和消费结构的升级使得对能源的需求量快速攀升。2040年我国的能源需求会比2006年增加1倍以上,达到52.19亿吨标准煤。为减少对环境造成的污染和温室气体排放,促进能源节约、清洁能源开发和能源可持续发展,国家应宏观调控、产业发展、财政金融、科学技术、对外经济等各项政策中充分重视和鼓励节能工作和新能源开发,例如理顺能源价格形成体制,充分反映资源稀缺程度;完善资源有偿使用制度、生态环境补偿机制;尽快开征燃油税、能源税等消费税种;运用法律手段规范和调节能源开发利用活动等等。

可持续发展是当前人类面临的一项极为紧迫的任务。联合国政府间气候变化专门委员会主席帕乔里曾向欧盟发出警告,他希望欧盟能够带领世界对抗全球变暖。“人类必须好好利用从现在起的7年时间,积极作为,确保温室气体的排放量高于安全程度,否则将形成难以预期的恶性循环。”近年来我国经历的洪涝、干旱、雪灾、强台风等灾害性天气为这些观点做了现实的注脚。实现人口、资源、环境的可持续发展,受益者首先不是后代人,而是当代人自身。同样,如果解决不好,首先付出代价的也是当代人。

参考文献:

- [1] 朱希刚. 中国粮食供需平衡分析 [J]. 农业经济问题, 2004, (12).
- [2] 封志明. 中国未来人口发展的粮食安全与耕地保障 [J]. 人口研究, 2007, 31 (2).
- [3] 李玉平, 蔡运龙. 区域耕地—人口—粮食系统动态分析与耕地压力预测——以河北省邢台市为例 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 2006, 1 (3).
- [4] 莱斯特·布朗, 布瑞恩·哈勒维. 杨芳译. 中国的水资源短缺将影响世界粮食安全 [J]. 中国农村经济, 1998, (7).
- [5] 王丘, 阮文彪. 中国水资源问题与农业可持续发展 [J]. 安徽农业大学学报 (社会科学版), 2000, 12 (4).
- [6] 徐玉升, 祁凯, 丁小明, 李磊. 水资源利用的系统动力学问题 [J]. 江南大学学报 (自然科学版), 2008, 7 (5).
- [7] 刘蕊梅, 陈昭宜. 温室效应与人口增长、能源消耗间相互关系的探讨 [J]. 中国人口资源与环境, 1994, 8 (4).
- [8] 余国合, 吴巧生. 中国人口结构与能源消费关系探讨 [J]. 中国石油大学学报 (社会科学版), 2007, 12 (6).
- [9] 张雷, 蔡国田. 中国人口发展与能源供应保障探讨 [J]. 中国软科学, 2005, (11).
- [10] 曾波, 苏晓燕. 中国产业结构成长中的能源消费特征 [J]. 能源与环境, 2006, (4).
- [11] 王其藩. 系统动力学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.
- [12] 冯海发, 王征南. 我国农用水资源利用及其政策调整 [J]. 中国农业资源与区划, 2001, (3).
- [13] 李政, 麻林巍, 潘克西. 产业发展与能源的协调问题研究——国际经验及对我国的启示 [J]. 中国能源, 2006, 28 (10).
- [14] 国家统计局. 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2007.
- [15] 何建坤, 柴麒敏. 关于全球减排温室气体长期目标的探讨 [J]. 清华大学学报 (哲学社会科学版), 2008, (4).
- [16] 陈文颖, 高鹏飞, 何建坤. 二氧化碳减排对中国未来GDP增长的影响 [J]. 清华大学学报 (自然科学), 2004, 44 (6).
- [17] 江泽民. 对中国能源问题的思考 [J]. 上海交通大学学报, 2008, 42 (3).

[责任编辑 齐明珠]